

Estudio de campo acerca de la ejecución de anclajes químicos

Teoría y práctica

POR PHILIPP GROSSER, WERNER FUCHS, Y ROLF ELIGEHAUSEN

En toda unión estructural, el punto de partida es elegir el producto correcto. Esto requiere comprender las cargas que se deben resistir y seguir una metodología de cálculo. También se requiere establecer la ubicación exacta de la fijación, anticipar las condiciones ambientales durante la instalación y el servicio y conocer los procedimientos de ejecución de la fijación o anclaje.

En el caso de anclajes químicos, el proyectista debe seleccionar un producto adecuado para las condiciones de servicio y que haya sido ensayado en base a las normas o estándares vigentes.

Una vez escogido y diseñado el sistema más adecuado, es necesario tener en cuenta el proceso de instalación. Para asegurar una ejecución segura, el instalador debe seguir correctamente las instrucciones del fabricante. Además, el instalador debe seguir los requisitos del ESR (“Evaluation Service Report” es la homologación más aceptada en EE.UU., ver cuadro en la página siguiente). Wollmershauser y Mattis¹ proporcionan información detallada sobre la instalación e inspección de anclajes químicos; así mismo la información sobre factores que influyen en el comportamiento de los mismos se encuentra en la referencia 2.

En teoría, el conocimiento está disponible para garantizar fijaciones fiables realizadas con anclajes químicos y proporcionar a los proyectistas e instaladores confianza y flexibilidad en miles de aplicaciones diferentes. Sin embargo, debido al fallo de los anclajes químicos en un túnel de Boston (Massachusetts) se ha cuestionado la instalación y uso de este tipo de fijaciones. Para entender

lo que se puede mejorar respecto del uso de anclajes químicos, se monitoreó su instalación con sistemas de inyección en 23 obras en cinco localidades repartidas por todos los EE.UU. Se examinaron los aspectos críticos para determinar las diferencias entre la ejecución real y la recomendada y para plantear propuestas para mejorar las prácticas de instalación.

TRABAJO DE CAMPO

Se investigó la ejecución de sistemas de anclajes químicos en obras en California, Florida, Illinois, Nueva York y Pensilvania. En total, se visitaron 23 sitios, se monitorizaron 26 aplicaciones y se entrevistó a 31 instaladores (Tabla 1). Se instalaron trece sistemas diferentes (tanto tipo epoxi como resinas híbridas). Nueve de estos productos contaban con una homologación ESR. El elemento fijado eran bien varillas roscadas o bien barras corrugadas. Se utilizaron anclajes para fortalecer estructuras de puentes, refuerzos sísmicos, conexiones de muros a otros elementos, fijación de estructura metálica a hormigón, dovelas para conexiones de capas de rodadura, instalación de protecciones contra huracanes, o subestructuras de fachadas. Los anclajes se instalaron hacia abajo en 13 casos, horizontalmente en 11 aplicaciones y a techo en dos casos.

El primer autor monitorizó y registró toda la información respecto de la instalación en el sitio. Se entrevistó a los instaladores para determinar sus antecedentes profesionales y educacionales, capacitación y niveles de experiencia con anclajes a posteriori, el nivel de experiencia con la instalación de anclajes en general y las opiniones generales respecto de los pros y contras de la instalación de anclajes químicos.

Tabla 1:
DETALLES DE LA INVESTIGACIÓN

Ubicación	Illinois	Florida	California	Pennsylvania	Nueva York	Total
Obras	6	7	5	2	3	23
Aplicaciones	7	8	5	3	3	26
Encuestas	8	6	8	5	4	31

Garantía de cumplimiento de la normativa

En los Estados Unidos, el Código Internacional de Construcción (IBC) es, en general, la normativa de construcción que rige.³ Para verificar el cumplimiento de los requisitos del IBC, cada fabricante de un sistema de fijación debe obtener un informe de evaluación (ESR) de un organismo independiente acreditado (similar al procedimiento para obtener una homologación europea ETA). Obtener un ESR significa cumplir con los criterios de aceptación que implican tanto ensayos como protocolos de calidad. En el caso de anclajes químicos, cumplir con la normativa IBC se puede demostrar a través de una homologación ESR emitida por los Servicios de Evaluación ICC (ICC-ES), según los criterios de aceptación especificados en ICC-ES AC308.⁴

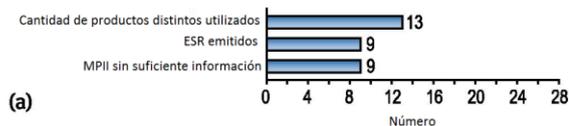
El proyectista selecciona un producto partiendo de la información contenida en la homologación ESR correspondiente. Además, el proyectista debe tener en cuenta varios aspectos diferentes que influyen sobre la correcta aplicación de los sistemas de anclajes químicos, como el método de perforación, temperatura y estado (fisurado o no) del material base, condición del taladro y la dirección de instalación.

El párrafo 1704 del IBC estipula una inspección particular de las fijaciones con anclajes químicos adhesivo para muchas aplicaciones y también se requieren inspecciones particulares en los propios ESR. El inspector observa el trabajo para verificar su cumplimiento con lo exigido en la normativa. Los requisitos de la norma IBC respecto de la inspección particular se originaron en el Código de Construcción Uniforme (UBC),⁵ que era el código de construcción adoptado en gran parte de los Estados Unidos occidentales.

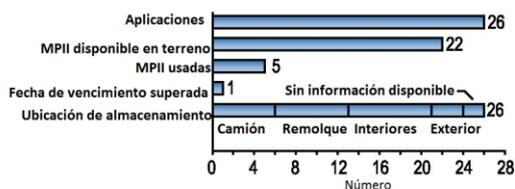
Observaciones generales

La Figura 1 resume las observaciones generales realizadas en las obras. Se analizaron las instrucciones de instalación de todos los fabricantes para evaluar si se proporcionaba la información requerida para asegurar una instalación correcta. Nueve de los 13 productos (cinco con ESR y cuatro sin ESR) no proporcionaban toda la información necesaria para la instalación correcta de anclajes químicos (Figura 1(a)).

Algunas instrucciones eran ambiguas, algunas tenían instrucciones incompletas y otras contenían pictogramas que no coincidían con la información del texto. En el caso de algunos productos, las instrucciones solo estaban impresas en el cartucho con una letra muy pequeña y era imposible leerlas después de colocar el cartucho en el aplicador. Aunque la mayoría de los sistemas requieren que el adhesivo se almacene en un zona seca, relativamente oscura y bien ventilada a temperaturas dentro de un rango especificado, se descubrió que algunas instrucciones no proporcionaban información sobre los requisitos de almacenaje.



(a)



(b)

Figura 1: Observaciones generales realizadas en las obras: (a) número de diferentes productos utilizados e información sobre ESR e instrucciones (MPII); (b) aplicaciones monitorizadas y observaciones sobre el uso de las instrucciones (MPII), antigüedad del producto y almacenamiento de este

Algunas instrucciones no proporcionaban información sobre el diámetro de la broca relacionada con el tamaño del anclaje y ninguna de ellas indicaba que se necesita un limitador de profundidad. La tabla 2 contiene un breve resumen de las diversas formas en que las instrucciones omitieron proporcionar detalles adecuados.

En la mayoría de las aplicaciones, las instrucciones estaban disponibles, pero muchos de los montadores no las consultaban. En un caso, el producto estaba caducado, pero se utilizó igualmente. Se encontró que las resinas estaban almacenadas en diversos lugares en condiciones opuestas a las requeridas (Figura 1(b)).

La figura 2 proporciona las observaciones realizadas durante la instalación de los anclajes, incluidas las perforaciones, limpieza, condiciones, inyección de adhesivo y el tiempo de fraguado. En las siguientes secciones se analizan en detalle estas observaciones.

Taladro

Dependiendo del producto, la capacidad del anclaje podría reducirse si la perforación tiene una profundidad, ubicación (Fig. 3 y 4), o diámetro (Fig. 5) incorrectos. Los instaladores deben utilizar una broca que cumpla con la tolerancia establecida en las instrucciones, pero se observó que se utilizaba una broca incorrecta en muchas aplicaciones. En el 23% de las aplicaciones, la broca era demasiado grande (la desviación máxima era del 33%) y en el 15% de las aplicaciones, la broca era demasiado pequeña. En un caso extremo, la broca era casi del mismo diámetro que la varilla a instalar (Fig. 5). Como se indica anteriormente, algunas instrucciones no definían el tamaño correcto de broca, de manera que la utilización de brocas incorrectas no es para sorprenderse.

En la mayoría de las instalaciones no se utilizó un limitador de profundidad (tope de profundidad) (Fig. 6). Aunque ninguna de las instrucciones incluía el requisito de usarlo, todas establecían que la perforación debe ser del tamaño y profundidad correctas, lo cual solo es posible cuando se utilizan accesorios adecuados.

Tabla 2:

INFORMACIÓN NO INCLUIDA EN LAS INSTRUCCIONES. NINGUNO DE LOS PRODUCTOS TENÍA TODA LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA ASEGURAR UNA INSTALACIÓN CORRECTA

Producto	1	2*	3	4*	5	6	7*	8*	9
Almacenamiento	X	X	X						X
Temperatura del cartucho durante la instalación	X	X	X			X			X
Temperatura del material base durante la instalación					X				
Método de perforación	X		X	X	✖	✖	✖	X	X
Diámetro de la broca				X	X	X	X		X
Condición de la perforación (seca, húmeda, llena de agua)	X		X	X	X	X		X	
Procedimiento de limpieza						✖			X
Tiempo de fraguado en función de la temperatura			X						
Par de apriete	X		X		X	X		X	X

*Producto con homologación ESR

Todas las instrucciones de los productos requerían limpiar el taladro con una bomba manual o aire comprimido (Fig. 7). Las instrucciones también requerían cepillado adicional de la perforación. En general, sin embargo, en las obras no estaban disponibles las herramientas necesarias para realizar dicha limpieza (Fig. 8). Las perforaciones solo se limpiaban correctamente en un pequeño número de instalaciones (Fig. 2). La mayoría de los sistemas requieren que los taladros estén libres de agua estancada, polvo, desechos, hielo, grasa, aceite u otros elementos extraños. Sin embargo, en dos aplicaciones el anclaje se instaló en una perforación llena de agua, aunque la homologación ESR establecía que el producto no es adecuado para la ejecución en estas condiciones.

Instalación de la resina y fraguado

Las instrucciones requieren que el montador deseche los primeros mililitros de la mezcla inicial de endurecedor y resina (la mezcla que se inyecte en la perforación debe tener un color uniforme). Este procedimiento garantiza la utilización de la proporción correcta de endurecedor y resina, pero a menudo no se cumplió con estos requisitos (Fig. 2). Muchos instaladores volvían a utilizar la boquilla mezcladora de un cartucho anterior. La resina dentro de la boquilla se desechaba, pero la primera parte de la resina del nuevo cartucho se inyectaba en la perforación. Se puede suponer que la proporción real entre endurecedor y resina de esa parte de la inyección es diferente de la proporción que se requiere para una mezcla correcta, de manera que esta práctica probablemente reduce la capacidad del anclaje.

Para llenar la perforación de resina (y evitar burbujas de aire), este se debe inyectar desde el fondo del taladro y la boquilla se debe ir retirando a medida que se va inyectando. Sin embargo, en algunas aplicaciones no se inyectó el adhesivo desde el fondo de la perforación. En estos casos, la pared de la perforación y la varilla o corrugado podrían no estar totalmente cubiertos por el adhesivo y se podrían presentar vacíos en la mezcla endurecida.

Ambos efectos reducen significativamente la capacidad y la durabilidad. Además, dependiendo del producto, la inhibición del

oxígeno podría interrumpir el proceso de fraguado de la resina e influir negativamente sobre la capacidad del anclaje.

Después de introducir la varilla o corrugado debe haber adhesivo sobrante alrededor de toda la boca del taladro para asegurarse de que esté completamente lleno.

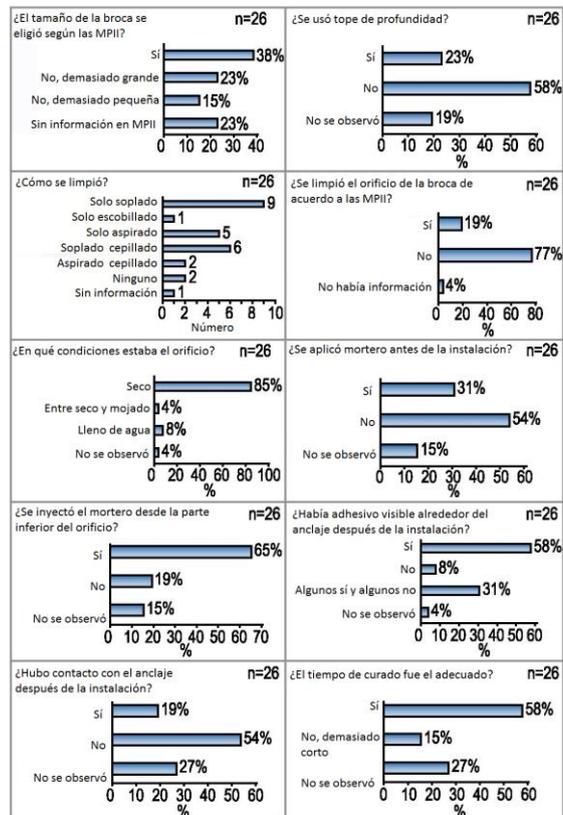


Figura 2: Resultados del estudio de campo de las instalaciones de anclaje adhesivo. (n = número de aplicaciones observadas)

Sin embargo, no había resina sobrante visible en la mayoría de las aplicaciones. Debido a la falta de material, la varilla no está adherida a la pared del taladro en toda su longitud, con la consiguiente pérdida su capacidad.



Figura 3: para evitar problemas de interferencia con el armado, **se deben instalar barras corrugadas antes de perforar**; así mismo en la definición de los detalles en el proyecto se debe tener en cuenta la necesidad de realizar ajustes de la posición de los anclajes. De lo contrario, se corre el riesgo de que de tenga que taladrar a través de los corrugados, lo cual afectaría la capacidad de la estructura. Aquí, el operario trató de “sortear” el armado no detectado inicialmente inclinando las perforaciones. Como se puede observar hay dos varillas que se han empotrado menos de lo previsto, lo que muestra el fracaso del intento.



Figura 4: Los detalles de plano deben establecer límites en la forma en que se ajustan las ubicaciones de los anclajes. En este caso, fue necesario realizar una segunda perforación (y también un nuevo taladro en la placa base) porque en la posición inicial la broca encontró armado y no pudo seguir. Sin embargo, resistencia de la unión se ve reducida porque la separación entre anclajes es demasiado pequeña.



Figura 5: Después de inyectar la resina, hubo que meter a martillazos estas varillas roscadas porque el diámetro del taladro era demasiado pequeño. El tamaño de la broca requerido para un diámetro de anclaje dado se debe establecer claramente en las instrucciones del fabricante



Figura 6: Método correcto para taladrar. El instalador está perforando a través de una plantilla utilizando un martillo r con tope de profundidad.

Además, después de introducir la varilla o corrugado, cada sistema requiere un tiempo de fraguado que depende de la temperatura del material base. Durante este tiempo, es necesario asegurarse de no alterar o cargar la varilla. La figura 9, por ejemplo, muestra una aplicación a techo correctamente instalada. El contacto o carga prematura podrían destruir parcialmente la unión entre el hormigón y la resina. Sin embargo, en algunas aplicaciones se observó contacto con la varilla y se aplicó carga antes de completar el tiempo de fraguado.

Inspección particular

La inspección continua o periódica de las instalaciones de anclajes solo se evidenció en las cinco aplicaciones en California y en una de las ocho en Florida (Fig. 10). No se observaron inspecciones particulares en las siete aplicaciones en Illinois, las tres en Pensilvania, o las tres en Nueva York. Aunque todas las perforaciones se limpiaron correctamente y todos los anclajes se instalaron correctamente en las aplicaciones en California, este no fue el caso en Florida. Los autores recomiendan encarecidamente que el ingeniero a cargo de un proyecto revise el desempeño de los inspecciones de las instalaciones de anclajes.

Montadores

Después de monitorizar las instalaciones en obra, hicimos que 31 instaladores respondieran un cuestionario. Las respuestas a los cuestionarios proporcionaron información sobre las instalaciones de anclajes químicos en otros sitios y sobre los antecedentes educacionales de los montadores.

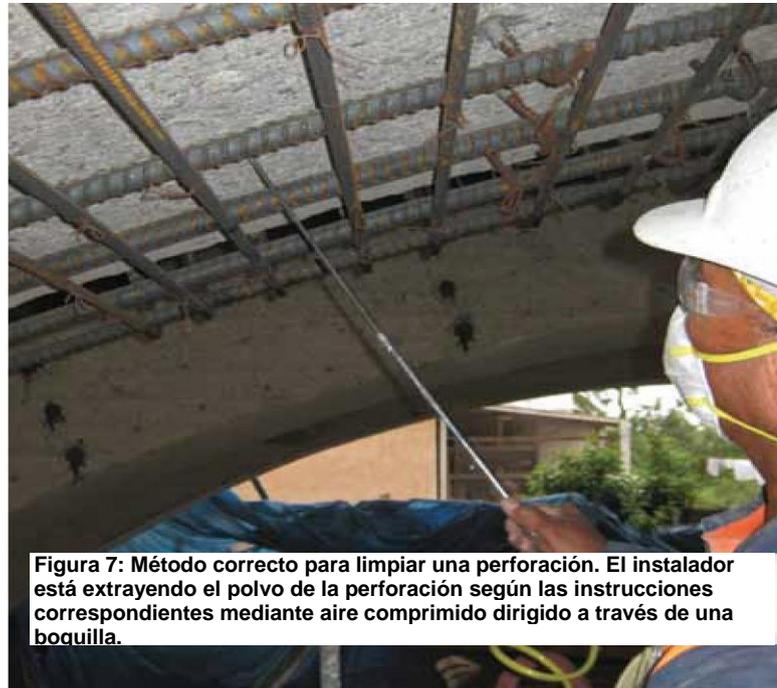


Figura 7: Método correcto para limpiar una perforación. El instalador está extrayendo el polvo de la perforación según las instrucciones correspondientes mediante aire comprimido dirigido a través de una boquilla.



Fig. 8: Las escobillas de limpieza se utilizaron raramente en las obras visitadas. En este caso, se usó una escobilla pero estaba vieja y gastada, por lo tanto poco eficaz. Las instrucciones del fabricante disponibles no proporcionaban criterios que estableciera el desgaste máximo aceptable.



Figura 9: Esta instalación a techo se realizó correctamente. El exceso de resina alrededor del anclaje indica que la perforación se llenó correctamente y que el instalador utilizó cuñas para mantener el anclaje en su lugar durante el fraguado.

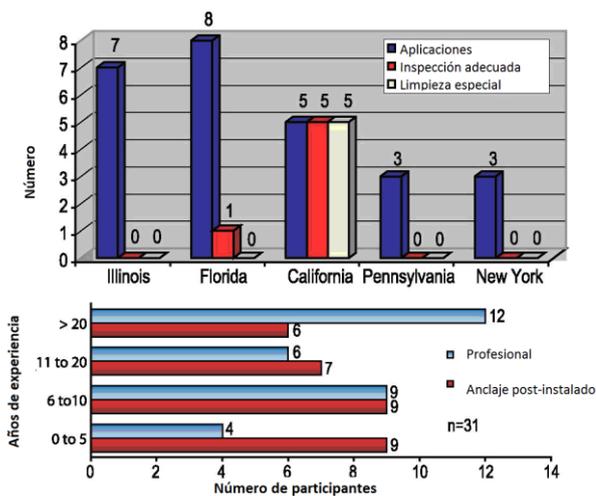
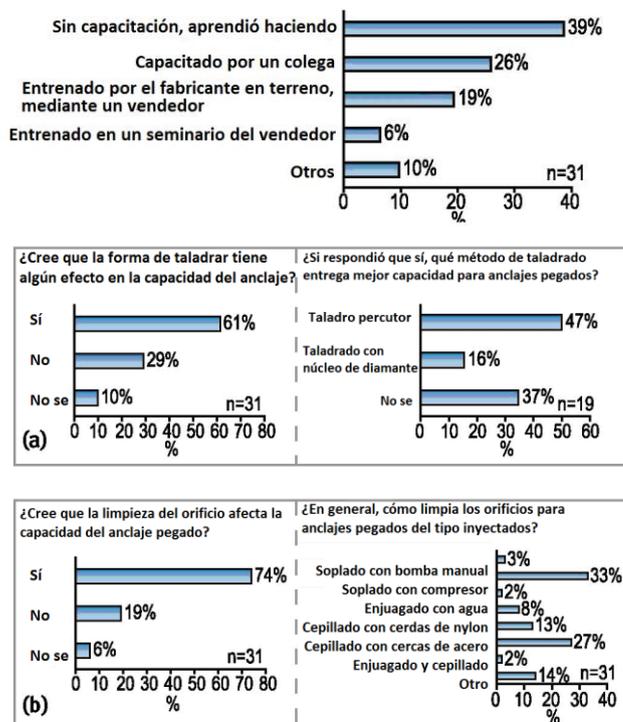


Figura 10: Influencia de las inspecciones particulares sobre las instalaciones de anclajes. La limpieza correcta de las perforaciones solo se observó en California, un estado con una larga historia de inspecciones que se remonta a la normativa UBC

Figura 11: Los instaladores contaban con mucha experiencia en la construcción y en ejecución de anclajes a posteriori. (n = número de montadores entrevistados)

Figura 12: Formación de instaladores. Aunque los montadores deseaban hacer un buen trabajo, su capacitación no era la adecuada. (n = número de instaladores entrevistados)



Casi todos los instaladores tenían antecedentes técnicos; la mayoría habían sido carpinteros, montadores de ejes y poleas, herreros de obra o trabajadores de la construcción en general. La mayoría de ellos había instalado anclajes durante varios años. La figura 11 resume los años de experiencia en sus oficios y en tecnología de anclajes a posteriori.

Era evidente que la mayoría de los instaladores deseaba realizar un buen trabajo, trataban de manejar cuidadosamente el proceso de instalación y estaban ansiosos por mejorar sus conocimientos sobre fijaciones y procedimientos de instalación. En general, sin embargo, no estaban informados sobre las mejoras en el conocimiento y los procedimientos. La evaluación de las preguntas respecto de la capacitación sobre instalación aparece en la figura 12. El 65% de los instaladores afirmó haber obtenido sus conocimientos sobre anclajes a posteriori “de la práctica” o de un colega. Una cuarta parte de ellos respondió haber sido formado por un fabricante en obra o en un seminario en sus instalaciones y solo el 10% respondió que aprendieron de otras fuentes, como escuelas.

A los instaladores también se les pidió su opinión sobre la influencia de sus prácticas sobre la resistencia de los anclajes químicos. Los resultados aparecen en la figura 13. Aunque la mayoría de los montadores entrevistados sabía que el método de perforación influye sobre la capacidad del anclaje (Fig. 13(a)), sólo la mitad de ellos sabía que una taladro más rugoso ejecutado con martillo eléctrico proporciona una resistencia tracción mayor alta que un taladro con paredes lisas como los ejecutados con máquinas de perforación con diamante. Algunos instaladores desconocían la influencia de la limpieza de la perforación (Fig. 13(b)) sobre la resistencia. Obsérvese que la limpieza correcta de la perforación se encontró principalmente en California, lo cual se podría atribuir a la particularmente eficaz inspección observada en esas obras. La mayoría de los instaladores respondieron que la temperatura de almacenamiento influye sobre la capacidad del anclaje; sin embargo, muchos afirmaron que almacenan el producto en la obra o en otro lugar, donde no es posible controlar la temperatura de almacenaje (Fig. 13(c)).

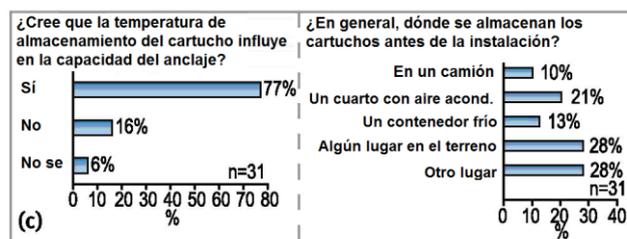


Figura 13: Muchos instaladores no eran conscientes de la influencia de factores importantes sobre la resistencia del anclaje: (a) aunque cerca del 60% de los instaladores pensaba que el método de perforación era importante, solo la mitad de ellos conocía el método de taladro que proporciona mayor resistencia; (b) aunque casi tres de cada cuatro instaladores pensaba que el método de limpieza de la perforación tenía importancia, menos de la tercera parte utilizaba sopladores o escobillas; y (c) aunque más de tres de cada cuatro instaladores pensaba que la temperatura de instalación influye, aproximadamente un tercio solamente mantenía los cartuchos en un lugar fresco durante el almacenamiento. (n = número de instaladores entrevistados).

ACCIONES ULTERIORES

Los factores críticos que influyen sobre la resistencia de los anclajes químicos son bien conocidos. Los resultados que se resumen en este documento, sin embargo, demuestran que puede haber espacio de mejora y garantizar una calidad de la instalación mayor.

Formación y certificación

Este estudio indica que los instaladores, en general, están dispuestos a aprender a realizar un buen trabajo, pero la mayor parte de la información disponible en las homologaciones ESR no se está utilizando. Los instaladores no han sido formados correctamente o se les han proporcionado instrucciones de instalación incorrectas. Existe una necesidad urgente de mejorar el proceso de instalación de los anclajes químicos, de manera que los montadores necesitan una formación más detallada al respecto. Por lo tanto, el Comité C601-A de ACI, Instalador de Anclajes Químicos, está trabajando conjuntamente con el Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI) en un nuevo programa de certificación. El desarrollo del programa de certificación de ACI-CRSI Adhesive Anchor Installation ha sido calificado de urgente y su inicio está programado para comienzos de 2011.

Otras medidas

Además de una capacitación adecuada, existen otras medidas que podrían ayudar a mejorar la calidad de las instalaciones de anclajes químicos. Todas las partes cuentan con un incentivo para exigir que las instrucciones para la instalación del fabricante estén escritas e ilustradas de manera uniforme, clara e inconfundible y que dichas instrucciones estén fácilmente disponibles para el instalador y el inspector.

En el caso de aplicaciones críticas, se hace necesaria una inspección particular y efectiva para garantizar que los anclajes se instalen correctamente. La capacitación de los inspectores ayudaría a asegurar una inspección eficaz.

Las pruebas de carga podrían influir en mejorar la ejecución porque permite detectar aquellas fijaciones con una reducción relevante de su resistencia. El contratista tendrá un fuerte incentivo para asegurar una instalación correcta de los anclajes y evitar los problemas que se desarrollarían si no se cumple con los criterios de la prueba de carga.

Agradecimientos

Queremos otorgar un agradecimiento especial a Power Fasteners, Inc. por su apoyo en el proyecto de investigación de campo

Referencias

1. Wollmershauser, R., and Mattis, L., "Adhesive Anchor Installation and Inspection," *Concrete International*, V. 30, No. 12, Dec. 2008, pp. 36-40.
2. Eligehausen, R.; Mallée, R.; and Silva, J.F., *Anchorage in Concrete Construction*, Ernst & Sohn, Berlin, Alemania, 2006, pp. 181-210.
3. *International Building Code*, International Code Council, Inc., Country Club Hills, IL, 2009, 676 pp..
4. AC308, *Acceptance Criteria for Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete Elements*, ICC Evaluation Service, Whittier, CA, 2009,

122 pp.

5. *Uniform Building Code*, V. 2, Structural Engineering Design Provisions, 1997 edition, International Council of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 pp.

Recibido y revisado en virtud de las políticas de publicación del Instituto



Philipp Grosser, miembro de la ACI, es un Ingeniero Investigador y Candidato a Doctor en el Departamento de fijación y refuerzo en el Instituto de Materiales de Construcción, en la Universidad de Stuttgart, Alemania. Recibió su titulación en ingeniería estructural de la Universidad de Karlsruhe. Es miembro del grupo de Actividades Especiales de *fib*, "Fijaciones para hormigón y mampostería."



Werner Fuchs, miembro de la ACI, es el Director de Investigación en técnicas de fijación en la Universidad de Stuttgart. Recibió su diploma en ingeniería estructural de la Universidad de Karlsruhe y su doctorado de la Universidad de Stuttgart. Es miembro de los Comités 349, estructuras con núcleo de hormigón; y 355, Anclajes a hormigón de la ACI; y de Asociados y Publicaciones Internacionales. También es miembro de un comité conjunto ACI-ACSE, el 408, desarrollo y solape de barras corrugadas, además de diversos comités europeos responsables del desarrollo de disposiciones normativas en el campo de la fijación.



Rolf Eligehausen, FACI, es un profesor retirado de técnicas de fijación en la Universidad de Stuttgart. Es miembro de diversos comités nacionales e internacionales en el campo de técnicas de fijación y hormigón armado, incluyendo los Comités 349, Estructuras de núcleo de acero; 355, Anclajes a hormigón de la ACI; y del comité conjunto ACI-ACSE, el 408, desarrollo y solape de barras corrugadas. Además, es el presidente del grupo de Actividades Especiales de *fib*, "Fijaciones para hormigón y mampostería," y el grupo de trabajo de CEN, "Diseño de fijaciones en hormigón." Ha escrito solo y como co-autor más de 300 *papers* y libros de texto.